


# Optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung Optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

**Patent number:** DE10026734  
**Publication date:** 2001-12-13  
**Inventor:** LUFT JOHANN [DE]; ALBRECHT TONY [DE]; LINDER NORBERT [DE]  
**Applicant:** OSRAM OPTO SEMICONDUCTORS GMBH [DE]  
**Classification:**  
- **international:** H01S5/40; H01S5/34; H01S3/0941; H01S5/183  
- **european:** H01S5/04B; H01S5/183  
**Application number:** DE20001026734 20000530  
**Priority number(s):** DE20001026734 20000530

**Also published as:**

 WO0193386 (A1)

## Abstract of DE10026734

The invention relates to an optically pumped, surface-emitting semiconductor laser device comprising at least one quantum well structure (11) which generates radiation and at least one pump radiation source (20) for optically pumping the quantum well structure (11), said pump radiation source (20) having a laterally-emitting semiconductor structure (21). The radiation generating quantum well structure (11) and the laterally-emitting semiconductor structure (21) are grown by epitaxy on a common substrate (1). This monolithically produced semiconductor laser device advantageously permits an extremely effective, homogeneous optical pumping of the radiation generating quantum well structure. The invention also relates to methods for producing inventive semiconductor laser devices.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

## Best Available Copy



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**  
10 **DE 100 26 734 A 1**

51 Int. Cl. 7:  
**H 01 S 5/40**  
H 01 S 5/34  
H 01 S 3/0941  
H 01 S 5/183

21 Aktenzeichen: 100 26 734.3  
22 Anmeldetag: 30. 5. 2000  
43 Offenlegungstag: 13. 12. 2001

DE 100 26 734 A 1

- 71 Anmelder:  
OSRAM Opto Semiconductors GmbH & Co. oHG,  
93049 Regensburg, DE
- 74 Vertreter:  
Epping, Hermann & Fischer, 80339 München
- 61 Zusatz in: 101 08 079.4
- 72 Erfinder:  
Luft, Johann, 93195 Wolfsegg, DE; Albrecht, Tony,  
93049 Regensburg, DE; Linder, Norbert, 93049  
Regensburg, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 24 13 493 B2  
DE 197 17 571 A1  
DE 195 06 959 A1  
DE 44 25 711 A1  
US 57 48 653  
US 55 48 610  
US 52 12 706  
US 52 12 701

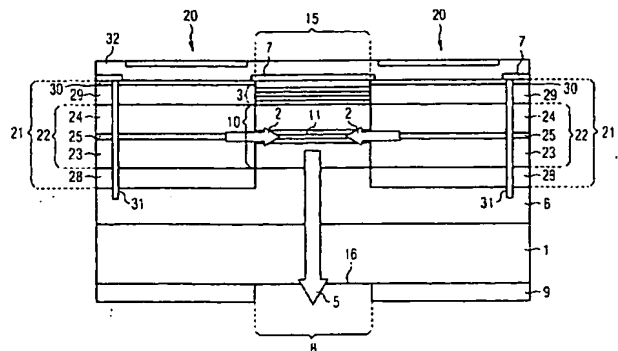
GERHOLD, M.D.; u.a.: Novel Design of a Hybrid-Cavity Surface-Emitting Laser. In: IEEE Journal of Quantum Electronics, Vol. 34, No. 3, 1998, S. 506-511;  
GRABHERR, M.; u.a.: Bottom-Emitting VCSEL's for High-CW Optical Output Power. In: IEEE Photonics Technology Letters, Vol. 10, No. 8, 1998, S. 1061-1063;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung und Verfahren zu deren Herstellung

- 57 Die Erfindung bezieht sich auf eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit mindestens einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur (11) und mindestens einer Pumpstrahlungsquelle (20) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11), bei der die Pumpstrahlungsquelle (20) eine kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) aufweist. Die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur (11) und die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) sind auf einem gemeinsamen Substrat (1) epidaktisch aufgewachsen. Mit dieser monolytisch hergestellten Halbleiterlaservorrichtung ist vorteilhafterweise ein sehr effektives und homogenes optisches Pumpen der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur möglich. Weiterhin sind Verfahren zum Herstellen von erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtungen angegeben.



DE 100 26 734 A 1

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit mindestens einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur und mindestens einer Pumpstrahlungsquelle zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur, bei der die Pumpstrahlungsquelle eine kantenemittierende Halbleiterstruktur aufweist.

[0002] Sie bezieht sich weiterhin auf ein Verfahren zum Herstellen einer derartigen Halbleiterlaservorrichtung.

[0003] Eine Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art ist aus der US 5,991,318 bekannt. Hierin ist ein optisch gepumpter Vertikalresonator-Halbleiterlaser mit einer monolithischen oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur beschrieben. Bei dieser bekannten Vorrichtung wird die optische Pumpstrahlung, deren Wellenlänge kleiner ist als die der erzeugten Laserstrahlung, von einer kantenemittierenden Halbleiterlaserdiode geliefert. Die kantenemittierende Halbleiterlaserdiode ist extern derart angeordnet, daß die Pumpstrahlung schräg von vorne in den Verstärkungsbereich der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur eingestrahlt wird.

[0004] Ein besonderes Problem bei dieser bekannten Vorrichtung besteht darin, daß der Pumpstrahl exakt zur oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur positioniert sein muß und zusätzlich einer optischen Einrichtung zur Strahlfokussierung bedarf, um die Pumpstrahlung exakt in den gewünschten Bereich der oberflächenemittierenden Halbleiterschichtstruktur abzubilden. Diese Maßnahmen sind mit erheblichem technischen Aufwand verbunden.

[0005] Außerdem treten neben den Verlusten an den Optiken auch Koppelverluste auf, die den Gesamtwirkungsgrad des Systems reduzieren.

[0006] Ein weiteres Problem besteht darin, daß aufgrund des Pumpens von vorne nur wenige Quantentöpfe durch Pumpstrahlung angeregt werden können.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art mit vereinfachter Justage von Pumpquelle und oberflächenemittierender Schichtstruktur und mit hoher Ausgangsleistung zur Verfügung zu stellen. Weiterhin soll ein technisch einfaches Verfahren zur Herstellung einer solchen Vorrichtung angegeben werden.

[0008] Die erstgenannte Aufgabe wird durch eine optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruches 1 gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen und Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind Gegenstand der Unteransprüche 2 bis 18.

[0009] Verfahren zur Herstellung von erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtungen sind Gegenstand der Patentansprüche 19 und 21. Besonders bevorzugte Ausführungsformen dieser Verfahren sind Gegenstand der Unteransprüche 20 und 22.

[0010] Gemäß der Erfindung ist bei einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung der eingangs genannten Art die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur und die kantenemittierende Halbleiterstruktur auf einem gemeinsamen Substrat epitaktisch aufgewachsen. Die Schichtdicken der einzelnen Halbleiterschichten lassen sich bei der Epitaxie sehr genau einstellen, so daß vorteilhafterweise eine hohe Positioniergenauigkeit der kantenemittierenden Halbleiterstruktur zur strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur erreicht wird.

[0011] Weiterhin läßt sich mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein homogenes optisches Pumpen der Quantentopfstruktur für hohe Ausgangsleistungen im Grundmodus

erzielen.

[0012] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform ist die oberflächenemittierende Quantentopfstruktur und die Pumpstrahlungsquelle derart nebeneinander auf dem Substrat angeordnet, daß ein strahlungsemitternder Bereich der Pumpstrahlungsquelle und die Quantentopfstruktur auf gleicher Höhe über dem Substrat liegen. Dadurch wird erreicht, daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung Pumpstrahlung seitlich in die Quantentopfstruktur eingekoppelt wird. Das bedeutet, daß die Strahlachse der Pumpstrahlung im Wesentlichen parallel zur Substratoberfläche und damit im Wesentlichen vertikal zur Strahlachse des von der oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung erzeugten Laserstrahls verläuft.

[0013] Im Betrieb wird bei einer derartigen Vorrichtung die Quantentopfstruktur von den Seitenflächen her zunächst transparent "gepumpt", bis schließlich deren gesamte laterale Querschnittsfläche laseraktiv ist. Durch das seitliche optische Pumpen wird zudem ein gleichmäßiges Füllen der Quantentöpfe mit Ladungsträgern erreicht.

[0014] Bevorzugt ist die Quantentopfstruktur von der kantenemittierenden Halbleiterstruktur umschlossen. In dieser ist mittels mindestens einem Strominjektionspfad auf der Oberfläche der Halbleiterlaserstruktur mindestens ein gewinngeführter strahlungsemitternder aktiver Bereich ausgebildet, der als Pumpstrahlungsquelle dient. Alternativ dient als Pumpstrahlungsquelle mindestens ein indexgeführter strahlungsemitternder aktiver Bereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur. Dieser ist beispielsweise mittels mindestens einem Strominjektionspfad auf der Oberfläche der kantenemittierenden Halbleiterstruktur in Verbindung mit entlang dem Strominjektionspfad ausgebildeten, beispielsweise geätzten Gräben in der Halbleiterstruktur definiert.

[0015] Vorzugsweise weisen die der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur zugewandten Enden der Strominjektionspfade zu dieser einen Abstand von 10–50 µm, besonders bevorzugt ca. 30 µm auf. Dadurch werden störende Leckströme und andere störende Einflüsse an den Grenzflächen zwischen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur und der oberflächenemittierenden Schichtenfolge, d. h. den Einkopplflächen für die Pumpstrahlung, reduziert.

[0016] Die oben angegebenen Ausführungsformen lassen sich vorteilhafterweise insgesamt mittels herkömmlicher Halbleiterprozesstechnik fertigen.

[0017] Fließt im Betrieb der Vorrichtung ein hinreichend hoher Strom durch die Injektionspfade in die aktive Schicht der Pumpstrahlungsquelle, kommt es zur Ausbildung verstärkter Spontanemission (Superstrahlung), die in den oberflächenemittierenden Laserbereich geführt und dort absorbiert wird. Die dadurch erzeugten Elektron-Loch-Paare werden in den Quantentöpfen gesammelt und führen zur Inversion im Verstärkungsbereich der oberflächenemittierenden Laserstruktur.

[0018] Die Anregung der oberflächenemittierenden Laserstruktur kann durch Pumpen der Quantentopfstruktur oder von an diese angrenzende Confinementschichten erfolgen. Im Falle des Pumpens der Confinementschichten wird die Pumpeffizienz vorzugsweise dadurch erhöht, daß deren Bandlücke zur Quantentopfstruktur hin abnimmt. Dies kann beispielsweise mittels Änderung der Materialzusammensetzung erreicht werden. Dadurch werden in den Confinementschichten interne elektrische Felder erzeugt, die die optisch generierten Ladungsträger in den aktiven Quantentopfbereich treiben.

[0019] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind mehrere Pumpstrahlungsquellen sternförmig um die Quantentopfstruktur angeordnet, so daß in kurzer Zeit und

sehr homogen die Quantentopfstruktur über ihren gesamten lateralen Querschnitt transparent "gepumpt" und laseraktiv wird.

[0020] Die Grenzfläche zwischen kantenemittierender Halbleiterstruktur und Quantentopfstruktur ist vorzugsweise zumindest teilweise reflektierend. Dadurch wird erreicht, daß sich an der Kante zum oberflächenemittierenden Laserbereich eine Rückreflexion in die kantenemittierende Halbleiterstruktur ergibt, was zur Ausbildung von Laserstrahlung in der Pumpquelle und damit zu erhöhter Pumpeffizienz führt.

[0021] Erzeugung von Laserstrahlung als Pumpstrahlung und damit erhöhte Pumpeffizienz wird alternativ dadurch erreicht, daß jeweils zwei an gegenüberliegenden Seiten der Quantentopfstruktur angeordnete Pumpstrahlungsquellen zusammen eine Laserstruktur bilden. Die von der Quantentopfstruktur abgewandten, parallel zueinander liegenden Endflächen der kantenemittierenden Strahlungsquellen sind dazu als Spiegelflächen ausgebildet und dienen als Resonatorspiegel. Diese können beispielsweise durch Spalten und/oder Ätzen (z. B. Trockenätzen) erzeugt und mit einer Passivierungsschicht versehen und/oder hochreflektierend verspiegelt sein.

[0022] Die gegenüberliegenden Pumpstrahlungsquellen sind im Betrieb über die transparent gepumpte Quantentopfstruktur zu einem einzigen kohärent schwingenden Laser gekoppelt. Bei optimaler Endverspiegelung steht dann bis auf die Verluste an den Grenzflächen zwischen Pump- und oberflächenemittierendem Laser die gesamte im Pump- und Laser gespeicherte optische Leistung als Pumpleistung zur Verfügung.

[0023] Bevorzugt besitzt die kantenemittierende Halbleiterstruktur eine Large Optical Cavity (LOC)-Struktur. Bei dieser ist eine aktive Schicht zwischen einer ersten und einer zweiten Wellenleiterschicht eingebettet, die wiederum zwischen einer ersten und einer zweiten Mantelschicht eingebettet sind.

[0024] Bei einer besonders bevorzugten Weiterbildung der Halbleiterlaservorrichtung besitzt die Quantentopfstruktur mehr als 10 Quantentöpfe. Diese hohe Zahl von Quantentöpfen ist möglich, weil aufgrund der seitlichen Einkopplung der Pumpstrahlung alle Quantentöpfe unmittelbar gepumpt werden. Dadurch wird vorteilhafterweise eine hohe Verstärkung in der oberflächenemittierenden Quantentopfstruktur erzielt.

[0025] Die kantenemittierende Halbleiterstruktur ist bevorzugt derart ausgebildet, daß sie eine Pumpwelle erzeugt, deren Maximum auf Höhe der Quantentöpfe über dem Substrat liegt, besonders bevorzugt auf Höhe des Zentrums der Quantentopfstruktur.

[0026] Um besonders hohe Ausgangsleistungen zu erhalten, ist bei einer vorteilhaften Weiterbildung die kantenemittierende Halbleiterstruktur als sogenannter Mehrfach- oder Microstack-Laser mit mehreren laseraktiven Schichtfolgen (z. B. Doppelheterostrukturen) ausgebildet, die über Tunnelübergänge in Reihe geschaltet sind. Die Quantenwellstruktur weist dann vorteilhafterweise mehrere Quantenwellgruppen auf, die jeweils in Höhe einer laseraktiven Schichtenfolge der Pumpquelle liegen.

[0027] Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung gemäß den oben angegebenen Ausführungsformen wird zunächst auf ein Substrat eine für einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser geeignete ersten Halbleiterschichtenfolge mit mindestens einer Quantentopfstruktur auf ein Substrat aufgebracht. Danach wird die erste Halbleiterschichtenfolge außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs entfernt. Auf dem nach dem Entfernen der er-

sten Halbleiterschichtenfolge freigelegten Bereich über dem Substrat wird nachfolgend eine kantenemittierende zweite Halbleiterschichtenfolge abgeschieden, die geeignet ist, Pumpstrahlung zu erzeugen und in die Quantentopfstruktur zu senden. Nachfolgend wird in der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge mindestens ein Strominjektionspfad ausgebildet.

[0028] Vorzugsweise wird zunächst eine Bufferschicht auf das Substrat aufgebracht. Auf dieser wird eine erste Confinementschicht abgeschieden. Auf die erste Confinementschicht wird nachfolgend eine für einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser geeignete Quantentopfstruktur aufgebracht, der eine zweite Confinementschicht folgt. Nach dem Entfernen der Confinementschichten und der Quantentopfstruktur und teilweise der Bufferschicht außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs werden dann auf den freigelegten Bereich der Bufferschicht eine erste Mantelschicht, eine erste Wellenleiterschicht, eine aktive Schicht, eine zweite Wellenleiterschicht und eine zweite Mantelschicht nacheinander aufgebracht. Die jeweiligen Schichtdicken sind derart ausgelegt, daß die in der aktiven Schicht erzeugte Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur gelangt.

[0029] Bei einer anderen Ausführungsform der Halbleiterlaservorrichtung gemäß der Erfindung sind die strahlungsemitierende Quantentopfstruktur und die Pumpstrahlungsquelle übereinander auf dem Substrat angeordnet. Die Quantentopfstruktur ist hierbei an die kantenemittierende Halbleiterstruktur optisch gekoppelt, so daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung Pumpstrahlung von der Pumpstrahlungsquelle in die Quantentopfstruktur geführt wird.

[0030] Die kantenemittierende Halbleiterstruktur weist bevorzugt eine erste Wellenleiterschicht und eine vom Substrat gesehen dieser nachgeordnete zweite Wellenleiterschicht auf, zwischen denen eine aktive Schicht angeordnet ist. Die Quantentopfstruktur ist auf der zweiten Wellenleiterschicht epitaktisch aufgewachsen, überdeckt nur einen Teilbereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur und ist an diese optisch angekoppelt.

[0031] Zur Verbesserung der Einkopplung der Pumpstrahlung in die Quantentopfstruktur ist die Grenzfläche zwischen zweiter Wellenleiterschicht und angrenzender Mantelschicht in der Nähe des oberflächenemittierenden Laserbereichs zur Quantentopfstruktur hin gebogen oder geknickt.

[0032] Um die Einkopplung von Pumpstrahlung in die oberflächenemittierende Halbleiterstruktur zu verbessern ist vorteilhafterweise der Brechungsindex der zweiten Wellenleiterschicht größer als der Brechungsindex der ersten Wellenleiterschicht und/oder ist die aktive Schicht asymmetrisch in dem von den beiden Wellenleiterschichten ausgebildeten Wellenleiter plaziert.

[0033] In der kantenemittierenden Halbleiterstruktur sind als Pumpstrahlungsquellen vorzugsweise analog zur oben beschriebenen ersten Ausführungsform einer oder mehrere gewinngeführte und/oder indexgeführte strahlungsemitierende aktive Bereiche ausgebildet.

[0034] Bei einem bevorzugten Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung gemäß der oben angegebenen zweiten grundsätzlichen Ausführungsform und deren Weiterbildungen wird zunächst auf ein Substrat eine kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge aufgebracht. Auf diese wird dann eine oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge mit mindestens einer Quantentopfstruktur aufgebracht. Danach wird die oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs entfernt, bevor mindestens ein Strominjektionspfad in der

kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge ausgebildet wird.

[0035] Vorzugsweise wird hierzu zunächst eine Bufferschicht auf das Substrat aufgebracht. Nachfolgend wird auf dieser nacheinander eine erste Wellenleiterschicht, eine aktive Schicht und eine zweite Wellenleiterschicht abgeschieden. Auf die so hergestellte kantenemittierende Schichtenfolge wird dann eine erste Confinementschicht, eine oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge mit einer Quantentopfstruktur und eine zweite Confinementschicht aufgebracht. Die Confinementschichten, die oberflächenemittierende Halbleiterlaserschichtenfolge und teilweise die zweite Wellenleiterschicht werden dann außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs entfernt. [0036] Bei einer bevorzugten Weiterbildung der beiden oben angegebenen Ausführungsformen ist auf einer Seite der Quantentopfstruktur eine hochreflektierende Braggreflektor-Schichtenfolge ausgebildet, die einen Resonatorspiegel der oberflächenemittierenden Laserstruktur darstellt. Als zweiter, teildurchlässiger Resonatorspiegel ist auf der gegenüberliegenden Seite der Quantentopfstruktur eine weitere Braggreflektor-Schichtenfolge oder ein externer Spiegel angeordnet.

[0037] Bevorzugt besteht das Substrat aus einem Material, das für den in der Halbleiterlaservorrichtung erzeugten Laserstrahl durchlässig ist und ist der hochreflektierende Braggreflektor auf der vom Substrat abgewandten Seite der Quantentopfstruktur angeordnet. Dies ermöglicht eine kurze Verbindung zwischen den Halbleiterstrukturen und einer Wärmesenke und damit eine gute Wärmeableitung aus den Halbleiterstrukturen.

[0038] Um störende Quermoden (= Moden parallel zum Substrat - whispering modes) zu verhindern, sind im Randbereich und/oder in Ätzstrukturen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge Absorberschichten angeordnet.

[0039] Die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung eignet sich insbesondere zur Anwendung in einem externen Resonator, in dem sich ein frequenzselektives Element und/oder ein Frequenzverdoppler befindet.

[0040] Vorteilhafterweise kann die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung über Modulation des Pumpstromes durch Modulation des Pumpstromes oder über Kurzschlußschaltung der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge moduliert werden.

[0041] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Vorrichtung und der Verfahren gemäß der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden in Verbindung mit den Fig. 1 bis 10 beschriebenen Ausführungsbeispielen.

[0042] Es zeigen:

[0043] Fig. 1, eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein erstes Ausführungsbeispiel;

[0044] Fig. 2a bis 2e, eine schematische Darstellung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1;

[0045] Fig. 3a, eine schematische Darstellung eines Schnittes durch ein zweites Ausführungsbeispiel;

[0046] Fig. 3b, eine schematische Darstellung einer vorteilhaften Ausgestaltung des Wellenleiters des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 3a;

[0047] Fig. 4a bis 4c, eine schematische Darstellung eines Verfahrensablaufes zur Herstellung des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 3;

[0048] Fig. 5, eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine erste Anordnung von Strominjektionspfaden auf einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur;

[0049] Fig. 6, eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine zweite Anordnung von Strominjektionspfaden

auf einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur;

[0050] Fig. 7, eine schematische Darstellung einer Draufsicht auf eine dritte Anordnung von Strominjektionspfaden auf einer kantenemittierenden Halbleiterstruktur;

[0051] Fig. 8a und b, schematische Darstellungen von Halbleiterlaservorrichtungen mit Absorberschichten;

[0052] Fig. 9, eine schematische Darstellung einer modulierbaren Halbleiterlaservorrichtung gemäß der Erfindung und

[0053] Fig. 10, eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Halbleiterlaservorrichtung mit einem externen Resonator.

[0054] Das Ausführungsbeispiel von Fig. 1 ist beispielsweise ein optisch gepumpter oberflächenemittierender Halbleiterlaserchip mit einer Laseremission bei 1030 nm. Bei diesem ist auf einem Substrat 1 eine Bufferschicht 6 aufgebracht. Das Substrat 6 besteht beispielsweise aus GaAs und die Bufferschicht 6 aus undotiertem GaAs.

[0055] Auf der Bufferschicht 6 ist mittig über dem Substrat eine oberflächenemittierende Halbleiterlaserstruktur 10 mit einer Quantentopfstruktur 11 aufgebracht, die den oberflächenemittierenden Laserbereich 15 darstellt. Die Halbleiterlaserstruktur 10 setzt sich zusammen, aus einer unmittelbar auf der Bufferschicht 6 befindlichen ersten Confinementschicht 12, einer auf dieser angeordneten Quantentopfstruktur 11 und einer auf der Quantentopfstruktur 11 aufgetragenen zweiten Confinementschicht 13.

[0056] Die Confinementschichten 12, 13 bestehen beispielsweise aus undotiertem GaAs und die Quantentopfstruktur 11 weist zum Beispiel eine Mehrzahl ( $\geq 3$ ) von Quantenwells auf, die aus undotiertem InGaAs bestehen, deren Dicke auf die Emission bei 1030 nm eingestellt ist und zwischen denen sich Barrierschichten aus GaAs befinden.

[0057] Über der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserstruktur ist ein Braggspiegel 3 mit beispielsweise 28 bis 30 Perioden GaAlAs(10% Al)/GaAlAs(90% Al) abgeschieden, der einen hochreflektiven Resonatorspiegel darstellt.

[0058] In der Umgebung des Laserbereichs 15 ist auf der Bufferschicht 6 eine kantenemittierende Halbleiterlaserstruktur 21, beispielsweise eine bekannte Large Optical Cavity(LOC)-Single Quantum Well(SQW)-Laserstruktur für eine Emission bei ca. 1  $\mu\text{m}$  abgeschieden. Diese setzt sich beispielsweise zusammen, aus einer ersten Mantelschicht 28 (z. B. n-GaAl<sub>0,65</sub>As), einer ersten Wellenleiterschicht 23 (z. B. n-GaAl<sub>0,1</sub>As), einer aktiven Schicht 25 (z. B. eine undotierte InGaAs-SQW), einer zweiten Wellenleiterschicht 24 (z. B. p-GaAl<sub>0,1</sub>As) und einer zweiten Mantelschicht 29 (z. B. p-GaAl<sub>0,65</sub>As).

[0059] Auf der zweiten Mantelschicht 29 kann als Deckschicht 30 beispielsweise eine p<sup>+</sup>-dotierte GaAs-Schicht aufgebracht sein.

[0060] Der LOC-Bereich 22 ist höhengleich mit dem Quantentopfbereich der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 angeordnet, vorzugsweise befindet sich die aktive Schicht 25 in gleicher Höhe über dem Substrat 1 wie die Quantentopfstruktur 11.

[0061] Bei einer besonderen Ausführungsform dieses Ausführungsbeispiels weist die kantenemittierende Halbleiterstruktur 21 mehrere aktive Schichten 25 auf, die mittels Tunnelübergänge in Reihe geschaltet sind. Die Quantentopfstruktur 11 weist analog dazu mehrere Quantentopfgruppen aufweist, die jeweils in Höhe einer aktiven Schicht 25 der kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21 liegen.

[0062] Sämtliche Halbleiterschichten sind beispielsweise mittels metallorganischer Dampfphasenepitaxie (MOVPE) hergestellt.

[0063] In der Nähe des äußeren Randes der kantenemittie-

renden Halbleiterlaserstruktur 21 befinden sich senkrecht zu den Schichten der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 verlaufende Endspiegel 31, die ausgehend von der Deckschicht 30 mindestens bis in die erste Mantelschicht 28, hier bis in die Bufferschicht 6 reichen. Diese sind beispielsweise nach dem Aufwachsen der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 mittels Ätzen (z. B. reaktives Ionenätzen) von entsprechenden Gräben und deren nachfolgendem Füllen mit hochreflektierendem Material hergestellt. Es sind jeweils zwei zueinander parallele Spiegel 31 auf gegenüberliegenden Seiten der Quantentopfstruktur 11 angeordnet (vgl. Fig. 5 und 6).

[0064] Alternativ können die Endspiegel in bekannter Weise durch Spalten des Wafers entlang von Kristallebenen hergestellt werden. Diese sind dann notwendigerweise nicht, wie in Fig. 1 dargestellt, im Chip angeordnet, sondern durch die gespaltenen Chipseitenflächen gebildet (vg. Fig. 7).

[0065] Auf der freien Oberfläche der Deckschicht 30 und des Braggspiegels 3 befindet sich eine elektrisch isolierende Maskenschicht 7, beispielsweise eine Siliziumnitrid- eine Aluminiumoxid- oder eine Siliziumoxidschicht, mit der Strominjektionspfade 26 der kantenemittierenden Halbleiterlaserstruktur 21 definiert sind (vgl. Fig. 5 und 6). Auf der Maskenschicht 7 und, in deren Aussparungen für die Strominjektionspfade 26, auf der Deckschicht 30 ist eine p-Kontaktschicht 32, z. B. eine bekannte Kontaktmetallisierung, aufgebracht.

[0066] Für die Pumpquelle sind beispielsweise sechs symmetrisch sternförmig um den oberflächenemittierenden Laserbereich 15 angeordnete Streifenarrays mit fünfzehn Streifen (4 µm Streifen, 10 µm Pitch) und mit ca. 150 µm aktiver Breite gewählt.

[0067] Vorzugsweise weisen die der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur 11 zugewandten Enden der Strominjektionspfade 26 zu dieser einen Abstand von 10–50 µm, besonders bevorzugt von ca. 30 µm auf. Dadurch werden störende Leckströme und andere störende Einflüsse an den Grenzflächen zwischen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21 und der oberflächenemittierenden Schichtenfolge 10, d. h. an den Einkoppelflächen für die Pumpstrahlung 2, reduziert.

[0068] Alle Strominjektionspfade 26 können mit einer gemeinsamen p-Kontaktschicht 32 versehen sein, wodurch die strahlungsemittierenden Bereiche der kantenemittierenden Struktur im Betrieb parallel geschaltet sind. Bei vorgesehener getrennter Ansteuerung dieser einzelnen strahlungsemittierenden Bereiche ist eine entsprechend strukturierte p-leitende erste Kontaktschicht 32 aufgebracht. Dadurch kann eine optimierte Pumplichtverteilung (z. B. ähnlich einem Gaußprofil) über den lateralen Querschnitt der oberflächenemittierenden Struktur erzeugt werden.

[0069] Zur Erzeugung von indexgeführten Pumpbereichen in der kantenemittierenden Struktur 21 können in dieser entlang den Strominjektionspfaden 26 zum Beispiel mittels Ätzen hergestellte Gräben ausgebildet sein (in den Figuren nicht dargestellt), die beispielsweise bis 0,5 µm in die zweite Wellenleiterschicht 24 reichen. Dadurch wird eine verbesserte Wellenführung an den Rändern der Pumpbereiche erzielt.

[0070] Die von der Halbleiterstruktur abgewandte Hauptfläche 16 des Substrats 1 ist bis auf ein Austrittsfenster 8 für den Laserstrahl (angedeutet durch den Pfeil 5) mit einer n-leitenden zweiten Kontaktschicht 9, z. B. ebenfalls eine bekannte Kontaktmetallisierung, versehen.

[0071] Die Hauptfläche 16 des Substrats ist vorzugsweise im Bereich des Austrittsfensters 8 entspiegelt, um Rückreflexionen in den Chip zu verringern.

[0072] Ein Laserresonator der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 kann aus dem Braggspiegel 3 und einem auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats 1 angeordneten externen weiteren Spiegel (in Fig. 1 nicht dargestellt) oder einem zwischen dem Substrat 1 und der Quantentopfstruktur 11 angeordnetem weiteren Braggspiegel gebildet sein.

[0073] Im Betrieb des Halbleiterchips wird in den durch die Strominjektionspfade 26 definierten Bereichen der kantenemittierenden Halbleiterstruktur 21, die die Pumpstrahlungsquelle 20 darstellt, Pumpstrahlung (angedeutet durch die Pfeile 2) erzeugt und in die Quantentopfstruktur 11 der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 eingekoppelt.

[0074] Bei ausreichender Rückreflexion an der Grenzfläche zwischen kantenemittierender 21 und oberflächenemittierender Struktur 10 und geeigneter Lage der Endspiegel 31 wird in der kantenemittierenden Struktur 21 Laserstrahlung erzeugt, was zu einer erhöhten Pumpeffizienz führt.

[0075] Vorzugsweise sind die Endspiegel 31 derart zueinander angeordnet, daß diese einen Laserresonator für zwei einander gegenüberliegende strahlungsemittierende Bereiche der kantenemittierenden Struktur 21 ausbilden. Die zwei gegenüberliegenden strahlungsemittierenden Bereiche sind dann nach dem Transparenzpumpen der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 zu einem einzigen kohärent schwingenden Laser verkoppelt. Bei optimaler Verspiegelung der Endspiegel 31 steht dann bis auf Verluste an der Grenzfläche zwischen kantenemittierender 21 und oberflächenemittierender Struktur 10 die gesamte vom Pump laser erzeugte optische Leistung als Pumpleistung zur Verfügung.

[0076] Bei dem in den Fig. 2a bis 2e schematisch dargestellten Verfahren zur Herstellung der Ausführungsbeispiele gemäß Fig. 1 werden zunächst auf das Substrat 1 nacheinander die Bufferschicht 6, die erste Confinementschicht 12, die Quantentopfstruktur 11, die zweite Confinementschicht 13 und die Braggspiegelschichten 3 beispielsweise mittels MOVPE aufgebracht (Fig. 2a).

[0077] Danach wird auf den als oberflächenemittierenden Laserbereich 15 vorgesehenen Bereich dieser Schichtenfolge eine Ätzmaske 17 (z. B. eine Si-Nitridmaske) aufgebracht. Nachfolgend werden außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs 15 die Braggspiegelschichten 3, die Confinementschichten 12 und 13, die Quantentopfstruktur 11 und teilweise die Bufferschicht 6 beispielsweise mittels Ätzen, z. B. Trockenätzen mittels Cl-Chemie, entfernt (Fig. 2b).

[0078] Auf den freigelegten Bereich der Bufferschicht 6 werden dann die erste Mantelschicht 28, die erste Wellenleiterschicht 23, die aktive Schicht 25, die zweite Wellenleiterschicht 24, die zweite Mantelschicht 29 und die Deckschicht 30 nacheinander beispielsweise wiederum mittels MOVPE aufgebracht (Fig. 2c).

[0079] Beispielsweise mittels reaktivem Ionenätzen und geeigneter bekannter Maskentechnik werden dann in die zuletzt aufgebrachte kantenemittierende Struktur 21 Gräben für die Endspiegel 31 geätzt (vgl. Fig. 2d), die nachfolgend mit reflexionssteigerndem Material beschichtet oder gefüllt werden. Weiterhin wird die Ätzmaske 17 entfernt.

[0080] Nachfolgend wird auf die Deckschicht 30 und den Braggspiegel 3 die elektrisch isolierende Maskenschicht 7 aufgebracht, bevor abschließend die p-Kontaktschicht 32 und die n-Kontaktschicht 9 hergestellt werden (Fig. 2e).

[0081] Optional werden vor dem Aufbringen der isolierenden Maskenschicht 7 die oben in Verbindung mit Fig. 1 beschriebenen Gräben zur Erzeugung von indexgeführten Pump lasern mittels Ätzen hergestellt.

[0082] Zur Verminderung von Strahlungsverlusten wird vorzugsweise das Substrat 1 nach der MOVPE beispiels-

weise auf unter 100 µm gedünnt oder vollständig entfernt. [0083] Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 befindet sich auf dem Substrat 1 zunächst ganzflächig eine Bufferschicht 6 und eine kantenemittierende Halbleiterlasersstruktur 21, bei der zwischen einer ersten 23 und einer zweiten Wellenleiterschicht 24 eine aktive Schicht 25 angeordnet ist.

[0084] In einem vorgesehenen Laserbereich 15 über der Mitte des Substrats 1 ist auf der zweiten Wellenleiterschicht 24 eine oberflächenemittierende Quantentopfstruktur 11, gefolgt von einer Confinementschicht 13 und einer Braggspiegelschichtenfolge 3, aufgewachsen.

[0085] Im Bereich um den Laserbereich 15 ist auf die zweite Wellenleiterschicht 24 oder ggf. auf eine auf dieser aufgetragenen hochdotierten Deckschicht eine elektrisch isolierende Maskenschicht 7 aufgebracht, die Ausnehmungen für Strominjektionspfade 26 der die kantenemittierenden Struktur 21 aufweist (vgl. Fig. 7). Auf der elektrisch isolierenden Maskenschicht 7 und in deren Ausnehmungen auf der zweiten Wellenleiterschicht bzw. auf der Deckschicht befindet sich eine erste Kontaktschicht 32 und auf der dieser gegenüberliegenden Seite des Substrats 1 ist eine zweite Kontaktschicht 9 mit einem Austrittsfenster 8 für den Laserstrahl (angedeutet durch den Pfeil 5) angeordnet.

[0086] Zur Erzeugung von indexgeführten Pumpbereichen in der kantenemittierenden Struktur 21 können in der zweiten Wellenleiterschicht 24 entlang den Strominjektionspfaden 26 zum Beispiel mittels Ätzen hergestellte Gräben ausgebildet sein (in den Figuren nicht dargestellt). Dadurch wird eine verbesserte Wellenführung an den Rändern der Pumpbereiche erzielt.

[0087] Als Endspiegel 31 der kantenemittierenden Struktur 21 sind hier beispielsweise gespaltene Flanken des Chips vorgesehen.

[0088] Im Betrieb wird in der kantenemittierenden Laserstruktur Pumpstrahlung erzeugt, von der ein Teil in die darüberliegende Quantentopfstruktur 11 eingekoppelt wird.

[0089] Um die Einkopplung zu fördern, befindet sich die aktive Schicht 25 asymmetrisch in dem von den zwei Wellenleiterschichten 23, 24 gebildeten Wellenleiter. Alternativ oder zusätzlich kann zum gleichen Zweck der Brechungsindex der zweiten Wellenleiterschicht 24 höher sein als der der ersten Wellenleiterschicht 23 und/oder kann die zweite Wellenleiterschicht zum Laserbereich 15 hin in Richtung Quantentopfstruktur 11 hochgezogen sein (vgl. Fig. 3b).

[0090] Als Materialien für die verschiedenen Schichten lassen sich hier beispielhaft die für die entsprechenden Schichten des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1 angegebenen Materialien verwenden.

[0091] Ein Laserresonator der oberflächenemittierenden Laserstruktur 10 kann auch bei diesem Ausführungsbeispiel aus dem Braggspiegel 3 und einem auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats 1 angeordneten externen weiteren Spiegel (in der Fig. 3a nicht dargestellt) oder einem zwischen dem Substrat 1 und der Quantentopfstruktur 11 angeordnetem weiteren Braggspiegel gebildet sein.

[0092] Bei dem in den Fig. 4a bis 4c schematisch dargestellten Verfahren zum Herstellen einer Vorrichtung gemäß dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3a wird zunächst auf das Substrat 1 eine Bufferschicht 6 aufgebracht. Auf dieser wird nachfolgend die erste Wellenleiterschicht 23, die aktive Schicht 25 und die zweite Wellenleiterschicht 24 nacheinander aufgewachsen. Danach wird auf die zweite Wellenleiterschicht 24 die Quantentopfstruktur 11, gefolgt von der Confinementschicht 13 und der Braggspiegelschicht 3 aufgewachsen (Fig. 4a). Diese Schichten werden beispielsweise mittels MOVPE hergestellt.

[0093] Nachfolgend wird auf den als Laserbereich 15 vor-

gesehenen Teilbereich der aufgewachsenen Schichtenfolge eine Ätzmaste 17 aufgebracht und die Braggspiegelschicht 3, die Confinementschicht 13, die Quantentopfstruktur 11 und teilweise die zweite Wellenleiterschicht 24 außerhalb der Laserbereiche 15 mittels Ätzen entfernt (Fig. 4b).

[0094] Danach wird zur Definition der Strominjektionspfade 26 die elektrisch isolierende Maskenschicht 7 auf die zweite Wellenleiterschicht 24 aufgebracht, bevor dann die erste Kontaktschicht 32 abgeschieden wird.

[0095] Nachfolgend wird auf die der Halbleiterschichtenfolge gegenüberliegende Hauptfläche des Substrats 1 die zweite Kontaktschicht 9 mit einem Austrittsfenster 8 aufgebracht.

[0096] Zur Verminderung von Strahlungsverlusten wird auch hier vorzugsweise das Substrat 1 nach der MOVPE beispielsweise auf unter 100 µm gedünnt oder vollständig entfernt.

[0097] Die erfindungsgemäßen sogenannten Scheibenlaser werden vorzugsweise mit dem Braggspiegel nach unten auf eine Wärmesenke gelötet. Eine Elektrode befindet sich auf der Wärmesenke, die zweite wird durch Bondung auf der Scheibenlaser-Oberfläche erzeugt.

[0098] Um störende Quermoden (= Moden parallel zum Substrat – whispering modes) zu verhindern, sind im Randbereich und/oder in Ätzstrukturen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge 15 Absorberschichten 18 angeordnet (vgl. Fig. 8a und 8b). Geeignete Absorbermaterialien für derartige Anwendungen sind bekannt und werden von daher an dieser Stelle nicht näher erläutert.

[0099] Die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung eignet sich insbesondere zur Anwendung in einem externen Resonator mit einem externen Spiegel 33 und einen teildurchlässigen konkaven Umlenkspiegel 34, in dem sich ein frequenzselektives Element 35 und/oder ein Frequenzverdoppler 36 befindet (vgl. Fig. 9).

[0100] Vorteilhafterweise kann die erfindungsgemäße Halbleiterlaservorrichtung über Modulation der Pumpquelle (durch Modulation des Pumpstromes) oder über Kurzschlußschaltung der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (vgl. Fig. 10) moduliert werden.

[0101] Die oben beschriebenen Strukturen lassen sich nicht nur im beispielhaft verwendeten InGaAlAs-System, sondern beispielsweise auch im InGaN-, InGaAsP- oder im InGaIP-System verwenden.

[0102] Bei einem Scheibenlaser im InGaN-System für eine Emission bei 470 nm bestehen die Quantenwells beispielsweise aus InGaN für 450 nm-Emission, die Confinementschichten aus InGaN mit reduzierter Brechzahl und die Braggspiegel aus einem InGaAlN-System. Die Pumplaserstruktur weist einen aktiven Bereich mit Quantenwells aus InGaN für Emission bei ca. 400 nm, sowie Wellenleiterschichten und Mantelschichten aus GaAlN auf, bei denen die gewünschten Brechzahlen über Variation des Al-Gehalts eingestellt werden.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Substrat
- 2 Pumpstrahlung
- 3 erster Resonatorspiegel
- 4 zweiter Resonatorspiegel
- 5 Laserstrahl
- 6 Bufferschicht
- 7 elektrisch isolierende Maskenschicht
- 8 Austrittsfenster
- 9 n-Kontaktschicht
- 10 oberflächenemittierende Laserstruktur
- 11 Quantentopfstruktur

- 12 erster Confinementschicht
- 13 zweite Confinementschicht
- 14 oberflächeninitiiierende Halbleiterlaserschichtfolge
- 15 Laserbereich
- 16 Hauptfläche
- 17 Ätzmaste
- 18 Absorberschichten
- 20 Pumpstrahlungsquelle
- 21 kantenemittierende Halbleiterstruktur
- 22 strahlungsimittierender Bereich
- 23 erste Wellenleiterschicht
- 24 zweite Wellenleiterschicht
- 25 aktive Schicht
- 26 Strominjektionspfad
- 27 Halbleiterschichtenfolge
- 28 erste Mantelschicht
- 29 zweite Mantelschicht
- 30 Kontaktschicht
- 31 Endspiegel
- 32 p-Kontaktschicht
- 33 Spiegel
- 34 Umlenkspiegel
- 35 frequenzselektives Element
- 36 Frequenzverdoppler

## Patentansprüche

1. Optisch gepumpte oberflächenemittierende Halbleiterlaservorrichtung mit mindestens einer strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur (11) und mindestens einer Pumpstrahlungsquelle (20) zum optischen Pumpen der Quantentopfstruktur (11), bei der die Pumpstrahlungsquelle (20) eine kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, daß die strahlungserzeugende Quantentopfstruktur (12) und die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) auf einem gemeinsamen Substrat (1) epitaktisch aufgewachsen sind.
2. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die strahlungsemittierende Quantentopfstruktur (11) und die Pumpstrahlungsquelle (20) derart nebeneinander angeordnet sind, daß ein strahlungsemittierender Bereich (22) der Pumpstrahlungsquelle (20) und die Quantentopfstruktur (11) auf gleicher Höhe über dem Substrat (1) liegen, so daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung Pumpstrahlung (2) seitlich in die Quantentopfstruktur (11) eingekoppelt wird.
3. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Quantentopfstruktur (11) von der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) umschlossen ist, in der mittels mindestens einem Strominjektionspfad (26) auf der Oberfläche der Halbleiterlaservorrichtung (21) mindestens ein gewinngeführter strahlungsemittierender aktiver Bereich ausgebildet ist, der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.
4. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Quantentopfstruktur (11) von der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) umschlossen ist, in der mittels mindestens einem Strominjektionspfad (26) auf der Oberfläche der Halbleiterstruktur (21) in Verbindung mit entlang dem Strominjektionspfad (26) ausgebildeten Gräben in der Halbleiterstruktur (21) mindestens ein indexgeführter strahlungsemittierender aktiver Bereich definiert ist, der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.
5. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß die der strahlungserzeugenden Quantentopfstruktur (11) zugewandten Enden der Strominjektionspfade (26) zu dieser einen Abstand von 10–50 µm aufweisen.

6. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Pumpstrahlungsquellen (20) auf einander gegenüberliegenden Seiten der Quantentopfstruktur (11) angeordnet sind, die im Betrieb Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) senden.
7. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mehrzahl von Pumpstrahlungsquellen (20) sternförmig um die Quantentopfstruktur (11) angeordnet sind, die im Betrieb Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) senden.
8. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß jeweils zwei auf einander gegenüberliegenden Seiten der Quantentopfstruktur (11) angeordnete Pumpstrahlungsquellen (20) zusammen eine Laserstruktur zum optischen Pumpen mittels Laserstrahlung bilden.
9. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) mindestens eine zwischen einer ersten (23) und einer zweiten Wellenleiterschicht (24) eingebettete aktive Schicht (25) aufweist, die wiederum zwischen einer ersten (28) und einer zweiten Mantelschicht (29) eingebettet sind.
10. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Grenzfläche zwischen kantenemittierender Halbleiterstruktur (21) und Quantentopfstruktur (11) zumindest teilweise reflektierend ist.
11. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) mehrere aktive Schichten (25) aufweist, die mittels Tunnelübergänge in Reihe geschaltet sind, und die Quantentopfstruktur mehrere Quantentopfgruppen aufweist, die jeweils in Höhe einer aktiven Schicht (25) der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) liegen.
12. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die strahlungsemittierende Quantentopfstruktur (11) und die Pumpstrahlungsquelle (20) übereinander auf dem Substrat (1) angeordnet sind und daß die Quantentopfstruktur (11) an die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) optisch gekoppelt ist, so daß im Betrieb der Halbleiterlaservorrichtung Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) geführt wird.
13. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die kantenemittierende Halbleiterstruktur (21) eine erste Wellenleiterschicht (23) und eine vom Substrat (1) gesehen dieser nachgeordnete zweite Wellenleiterschicht (24) aufweist, zwischen denen eine aktive Schicht (25) angeordnet ist und daß die Quantentopfstruktur (11) auf der zweiten Wellenleiterschicht (24) epitaktisch aufgewachsen ist, nur einen Teilbereich der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) überdeckt und an diese optisch angekoppelt ist, so daß zumindest ein Teil der in der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) erzeugten Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) geführt wird.
14. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) mittels mindestens einem ent-



sprechend strukturierten Strominjektionspfad (26) auf der Oberfläche der zweiten Wellenleiterschicht (24) mindestens ein gewinngeführter strahlungsemitternder aktiver Bereich ausgebildet ist, der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.

15. Halbleiterlaservorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß in der kantenemittierenden Halbleiterstruktur (21) mittels mindestens einem entsprechend strukturierten Strominjektionspfad (26) auf der Oberfläche der zweiten Wellenleiterschicht (24) in Verbindung mit entsprechend geätzten Gräben in der zweiten Wellenleiterschicht (24) mindestens ein gewinngeführter strahlungsemitternder aktiver Bereich ausgebildet ist, der als Pumpstrahlungsquelle (20) dient.

16. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß der Brechungsindex der zweiten Wellenleiterschicht (24) größer ist als der Brechungsindex der ersten Wellenleiterschicht (23).

17. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 13 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die aktive Schicht (25) asymmetrisch in dem von den beiden Wellenleiterschichten (23, 24) ausgebildeten Wellenleiter plaziert ist.

18. Halbleiterlaservorrichtung nach einem der Ansprüche 2 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (1) aus einem Material besteht, das für den in der Halbleiterlaservorrichtung erzeugten Laserstrahl (5) durchlässig ist und daß

auf der vom Substrat (1) abgewandten Seite der Quantentopfstruktur (11) eine Resonatorspiegelschicht (3), insbesondere ein Bragg-Reflektor mit möglichst hohem Reflexionskoeffizienten aufgebracht ist.

19. Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:

- a) Aufbringen einer oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) mit mindestens einer Quantentopfstruktur (11) auf ein Substrat (1);
- b) Entfernen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs (15);
- c) Aufbringen einer kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27) auf den durch das Entfernen der ersten Halbleiterschichtenfolge (14) freigelegten Bereich über dem Substrat (1), die geeignet ist, Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) zu senden und
- d) Ausbilden von mindestens einem Strominjektionspfad (26) in der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27).

20. Verfahren nach Anspruch 19, bei dem die Schritte a bis c folgende Einzelschritte aufweisen:

- aa) Aufbringen einer Bufferschicht (6) auf das Substrat (1);
- ab) Aufbringen einer ersten Confinementschicht (12) auf die Bufferschicht (6);
- ac) Aufbringen einer für einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser geeigneten Quantentopfstruktur (11) auf die erste Confinementschicht (12);
- ad) Aufbringen einer zweiten Confinementschicht (13) auf die Quantentopfstruktur (11);
- ba) Entfernen der Confinementschichten (12, 13) und der Quantentopfstruktur (11) und teilweise der Bufferschicht (6) außerhalb des vorgesehenen

oberflächenemittierenden Laserbereichs (15);

ca) Aufbringen einer ersten Mantelschicht (28), einer ersten Wellenleiterschicht (23), einer aktiven Schicht (25), einer zweiten Wellenleiterschicht (24) und einer zweiten Mantelschicht (29) nacheinander auf den freigelegten Bereich der Bufferschicht (6), wobei die jeweilige Schichtdicke derart ausgelegt ist, daß die in der aktiven Schicht erzeugte Pumpstrahlung (2) in die Quantentopfstruktur (11) gelangt.

21. Verfahren zum Herstellen einer optisch gepumpten oberflächenemittierenden Halbleiterlaservorrichtung, das folgende Verfahrensschritte aufweist:

- a) Aufbringen einer kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27) auf ein Substrat (1);
- b) Aufbringen einer oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) mit mindestens einer Quantentopfstruktur (11) auf die kantenemittierende Halbleiterschichtenfolge (27);
- c) Entfernen der oberflächenemittierenden Halbleiterlaserschichtenfolge (14) außerhalb des vorgesehenen Laserbereichs (15) und
- d) Ausbilden von mindestens einem Strominjektionspfad (26) in der kantenemittierenden Halbleiterschichtenfolge (27).

22. Verfahren nach Anspruch 21, bei dem die Schritte a) bis c) folgende Einzelschritte aufweisen:

- aa) Aufbringen einer Bufferschicht (6) auf das Substrat (1);
- ab) Aufbringen einer ersten Wellenleiterschicht (23), einer aktiven Schicht (25) und einer zweiten Wellenleiterschicht (24) nacheinander auf die Bufferschicht (6),
- ba) Aufbringen einer ersten Confinementschicht (12) auf die zweite Wellenleiterschicht (24);
- bb) Aufbringen einer für einen oberflächenemittierenden Halbleiterlaser geeigneten Quantentopfstruktur (11) auf die erste Confinementschicht (12);
- bc) Aufbringen einer zweiten Confinementschicht (13) auf die Quantentopfstruktur (11);
- ca) Entfernen der Confinementschichten (12, 13) und der Quantentopfstruktur (11) und teilweise der zweiten Wellenleiterschicht (24) außerhalb des vorgesehenen oberflächenemittierenden Laserbereichs (15).

---

Hierzu 9 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

**FIG 1**

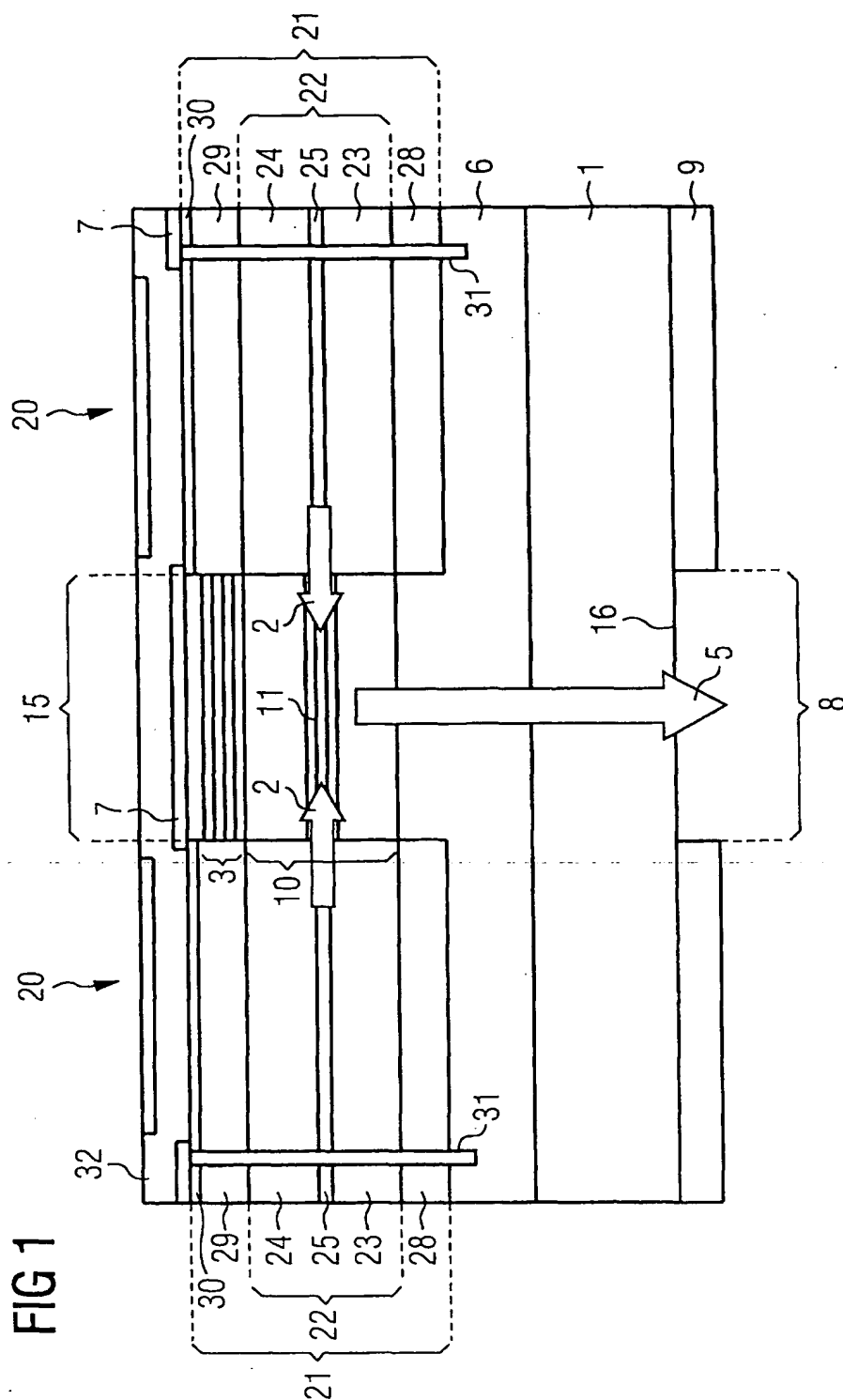


FIG 2a

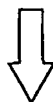
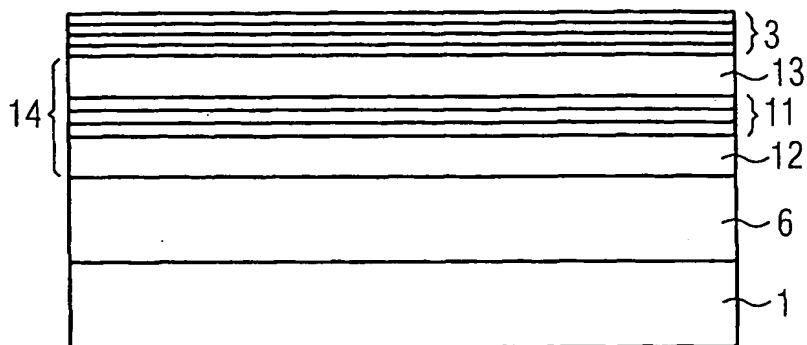


FIG 2b

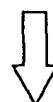
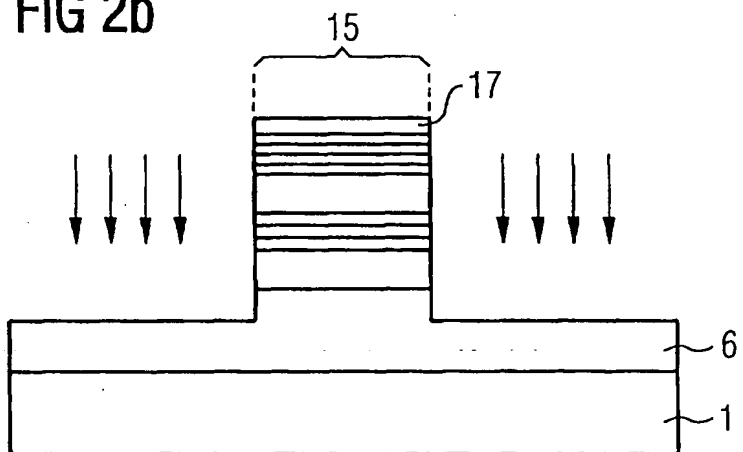


FIG 2c

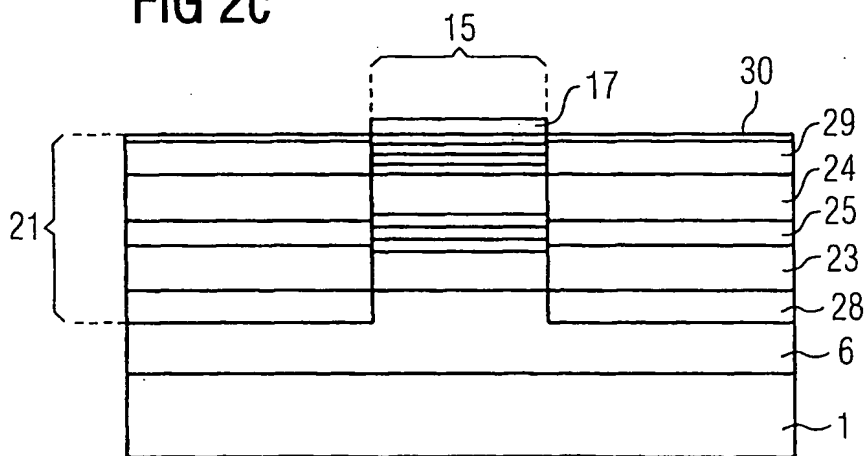


FIG 2d

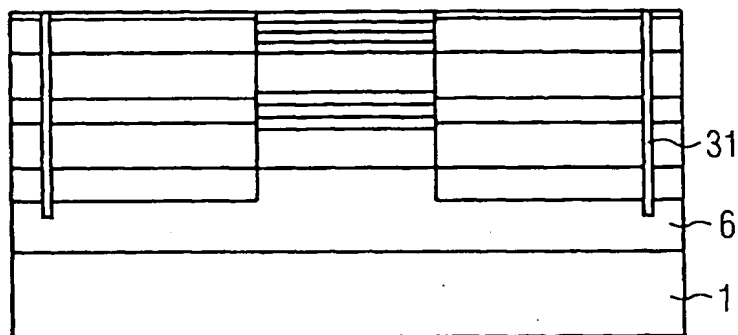


FIG 2e

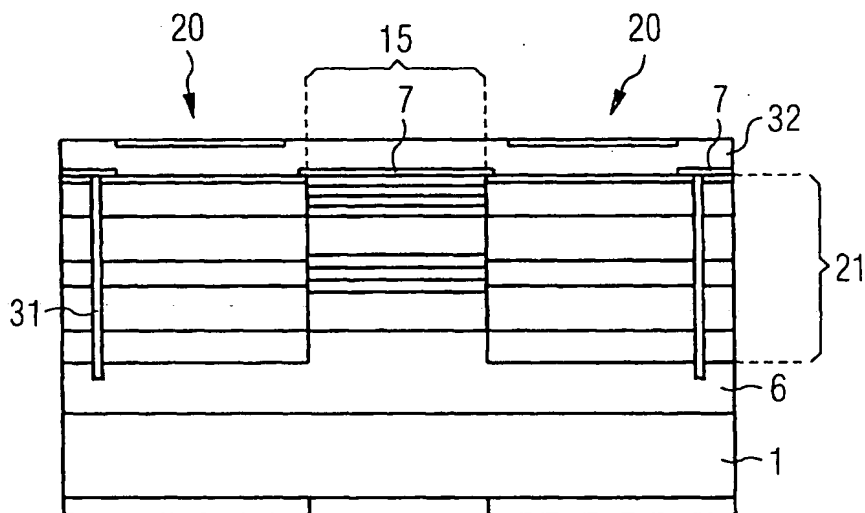


FIG 3b

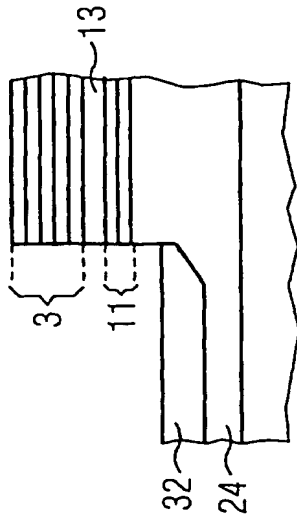


FIG 3a

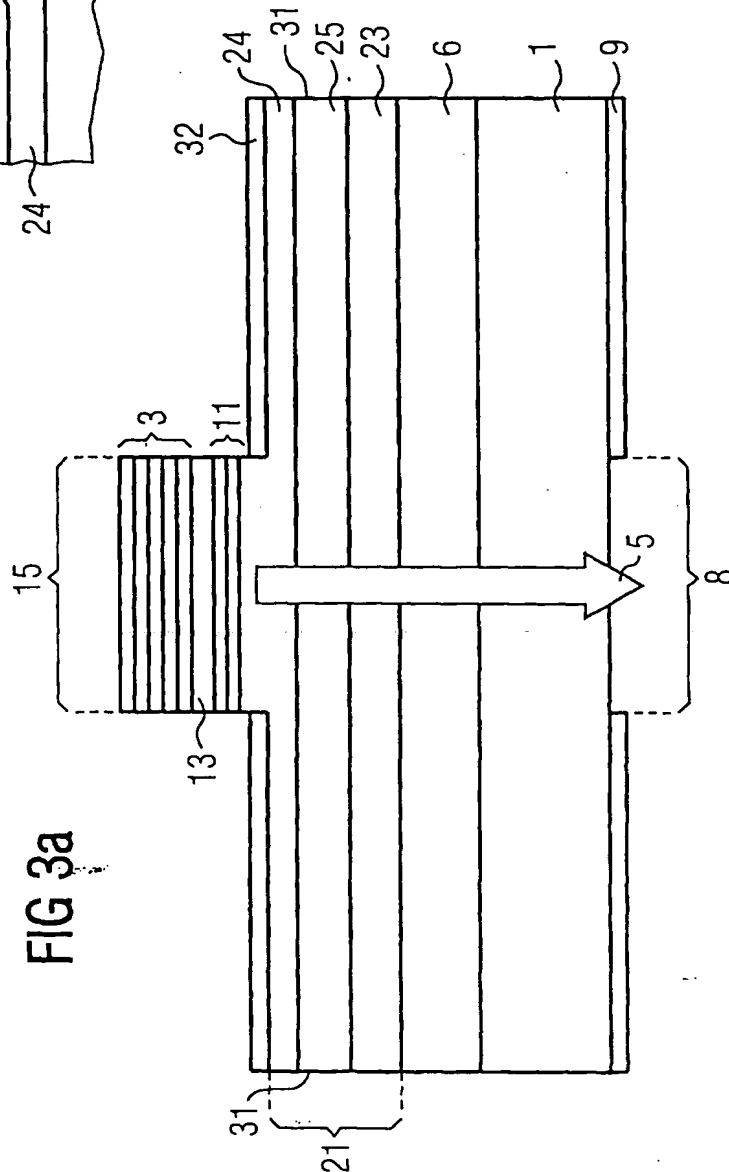


FIG 4a

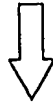
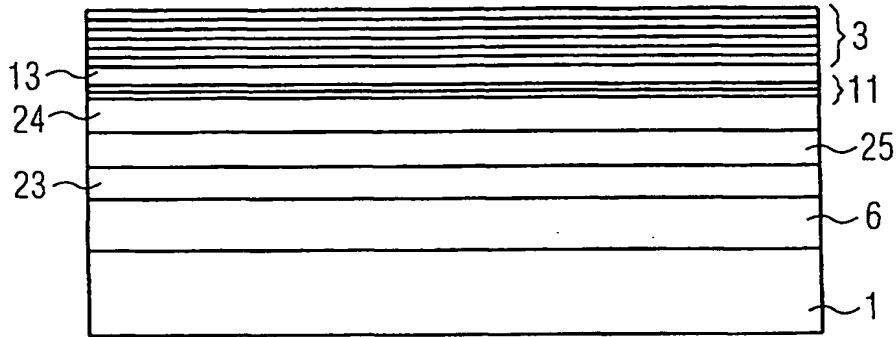


FIG 4b

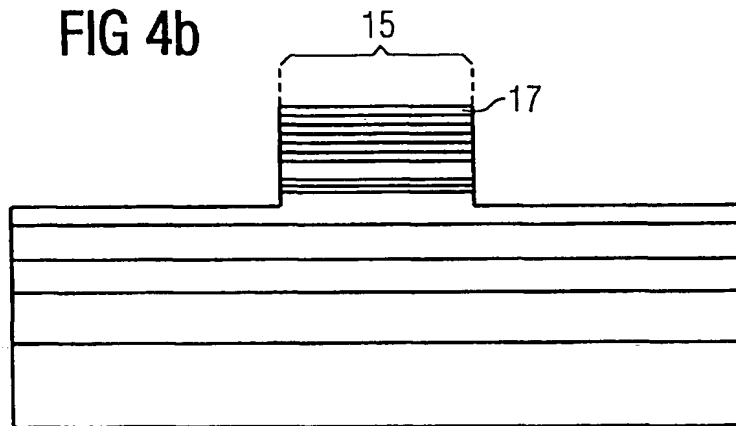


FIG 4c

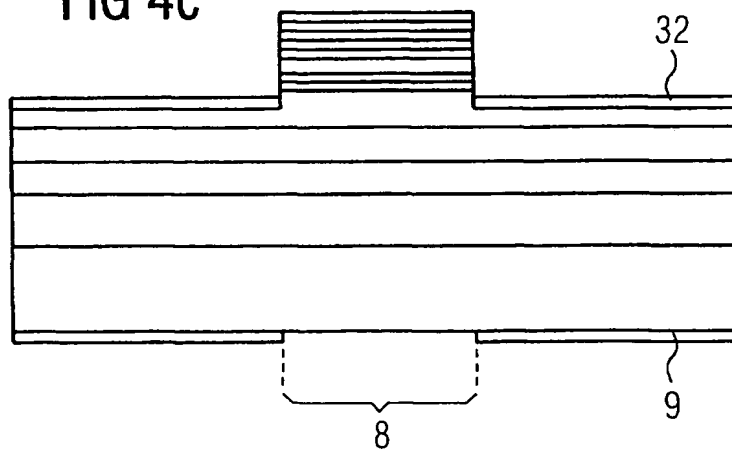


FIG 5

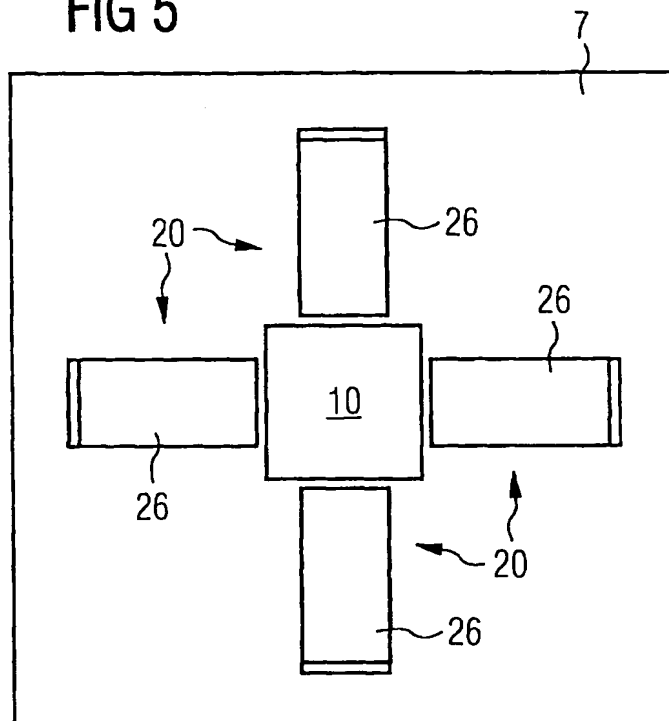


FIG 6

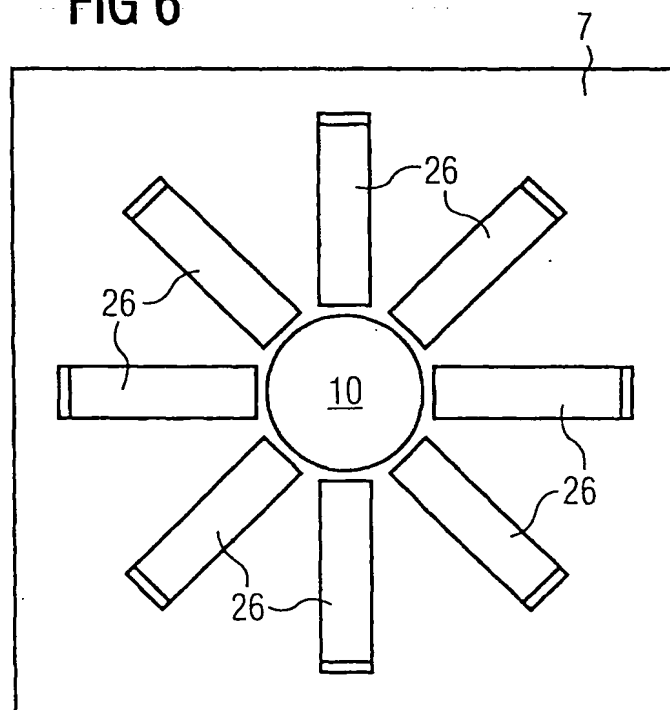




FIG 7

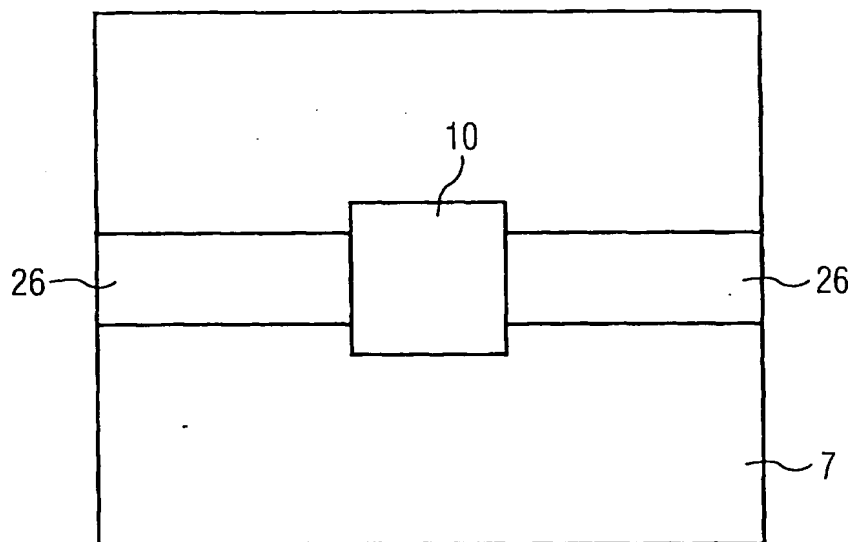


FIG 8b

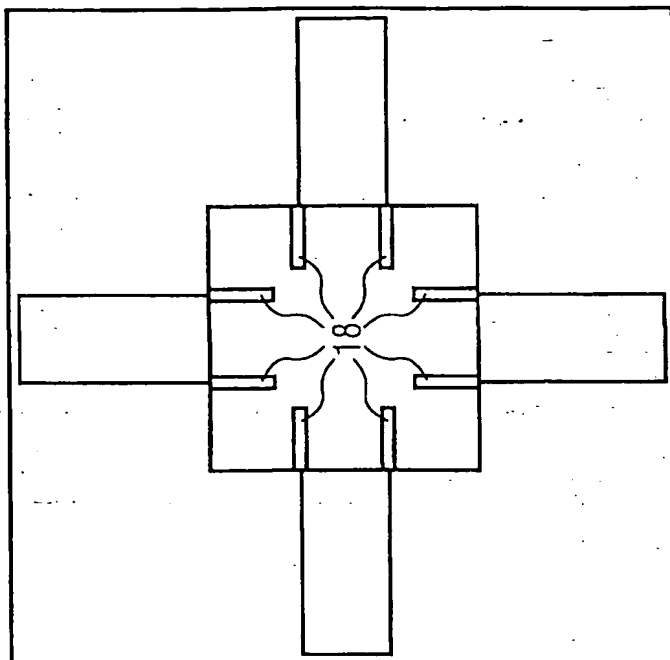
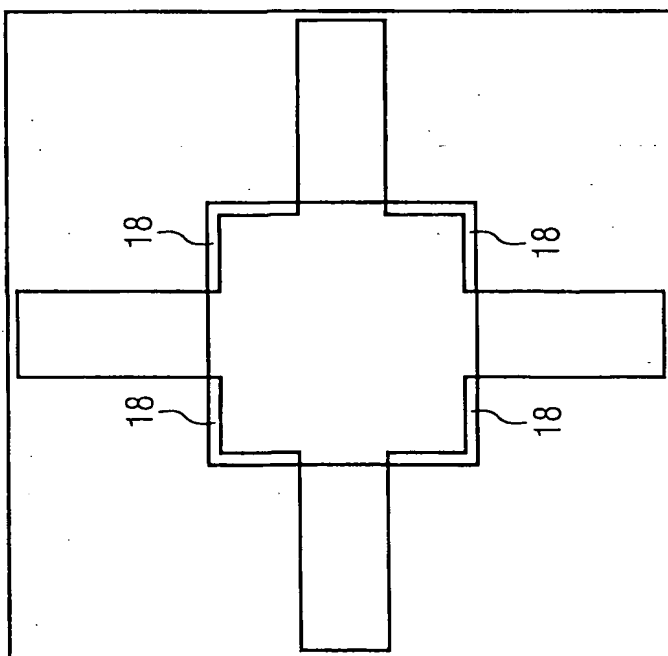
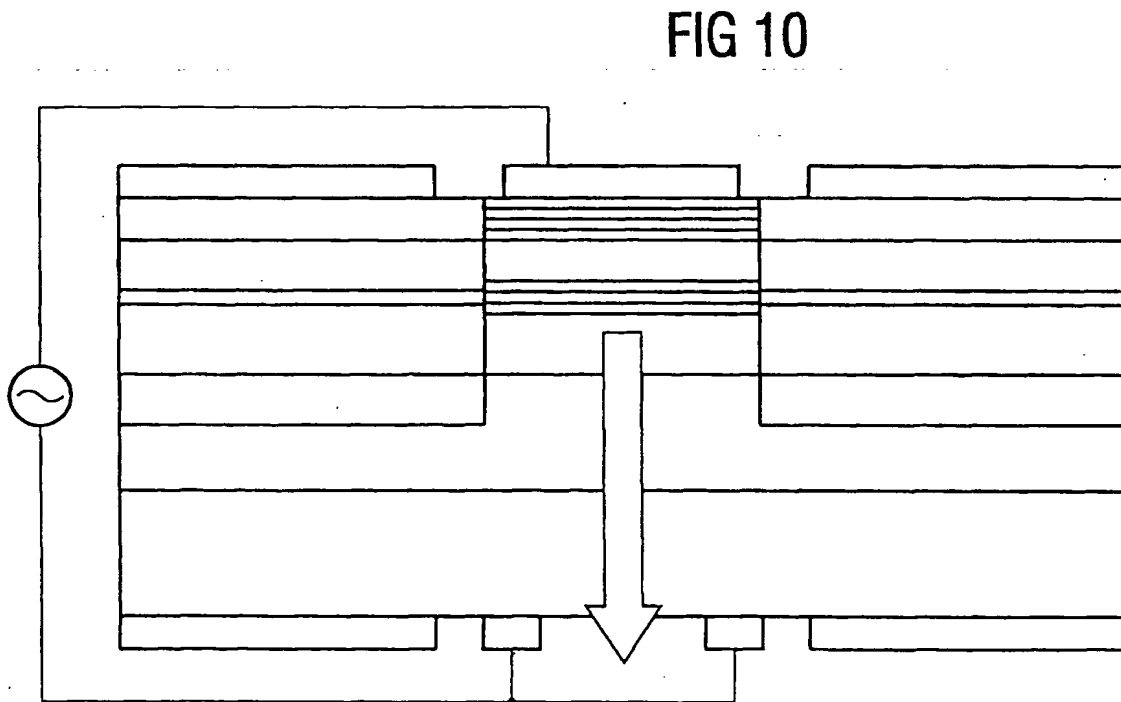
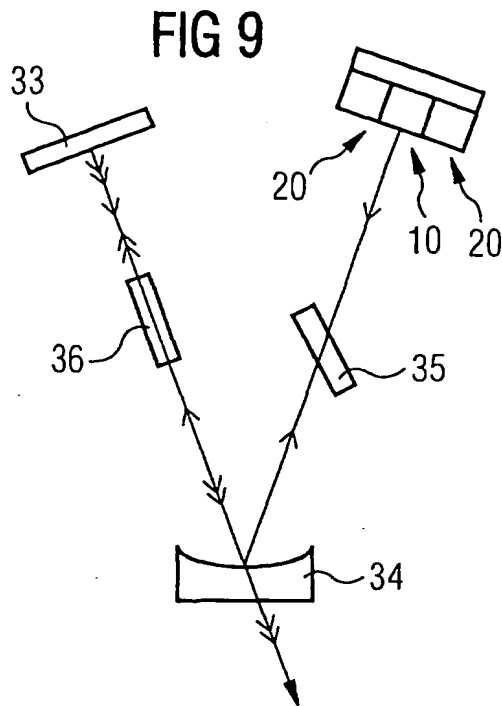


FIG 8a





**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**